Emploi des Algues marines pour l'alimentation des Chevaux,

par M. Louis Lapicque.

Cet emploi, dans sa forme actuelle en France, est dû à l'initiative de M. l'Intendant militaire Adrian, dont la persévérance a abouti jusqu'à la réalisation; l'Intendance française a actuellement en cours des marchés d'Algues pour le ravitaillement de la cavalerie militaire. L'étude scientifique, avec les précisions et les perfectionnements pratiques qui peuvent en résulter, se poursuit dans le Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, rattaché à la Section d'Hygiène et Biologie de la Direction des Inventions.

D'ailleurs, la question a été l'objet de travaux dans ce Laboratoire depuis l'origine: c'est même de là qu'elle a pris naissance, d'une façon assez curieuse. Au début de l'année 1917, sur la demande de la Section de Chimie de la D. I., j'avais donné l'hospitalité à un chimiste, M. Gloess, qui étudiait les Laminaires au point de vue de leurs applications comme agglomérants: les Algues, en effet, comme on sait, contiennent en abondance des hydrates de carbone gélifiants ou gommeux, dont quelques-uns sont d'un usage courant, comme l'agar-agar des Algues du Japon, ou la *gélose* de notre *Chondrus crispus*. En 1883, un chimiste anglais, Stanford, a insisté sur l'un de ces corps, ou plus probablement sur un certain complexe de divers corps, extrait par lui des Laminaires et dénommé *algine*. L'algine ou des produits analogues étaient, dès le début de la guerre, fabriqués industriellement dans plusieurs usines de nos côtes bretonnes. M. Gloess, après avoir signalé l'extension que pourrait prendre l'emploi des matières de ce genre [1], s'occupait donc, en mai 1917, d'utiliser cette ressource pour la Défense nationale. En particulier, il envisagea l'emploi de l'algine pour l'imperméabilisation des capotes d'uniforme et alla soumettre cette proposition à M. l'Intendant Adrian, alors à la Mission d'Essais sous la direction de M. Pierre Dupuy.

On était fort préoccupé à ce moment d'assurer la nourriture de nos Chevaux; l'avoine, notamment, présentait un déficit qui d'ailleurs n'a fait que s'aggraver. Au premier coup d'œil, sur des chiffres donnés pour la composition chimique de l'algine, M. Adrian fut frappé de l'analogie avec l'avoine.

[1] *Moniteur scientifique de Quesneville*, mai, août, octobre 1916.

Il passa immédiatement aux essais pratiques et commença par installer dans mon laboratoire une petite usine pour la préparation du produit. Une baraque *Adrian* fut montée dans la cour, et une équipe de quatre hommes et un caporal y travailla d'une façon permanente sous la direction de M. Gloess. Un wagon d'Algues sèches fut envoyé de Bretagne, et ces Algues soumises au *lavage méthodique* dans les conditions suivantes. Une série de douze baquets était montée en cascade; l'eau de la concession arrivant dans le baquet supérieur y était additionnée d'une petite quantité d'acide chlorhydrique ordinaire, contenant par conséquent un peu de chlore, puis, par un jeu de robinets, s'écoulait de baquet en baquet. Les Algues brutes étaient déposées dans le baquet inférieur et remontées de baquet en baquet, après un certain temps d'arrêt dans chacun, jusqu'au baquet supérieur. Elles étaient alors rincées à l'eau simple, réduites en menus morceaux à l'aide d'un hache-paille, et finalement mises à sécher à l'air sur de grands châssis de toile. Le produit ainsi obtenu consiste, on le voit, en Algues (ces Algues étaient, comme j'ai pu m'en assurer plus tard, presque exclusivement des *Laminaria flexicaulis* avec quelques rares *L. Cloustoni*) lavées abondamment en milieu acide : c'est donc la somme des matières insolubles. M. Gloess l'appelait, par une extension assez abusive du mot, *algine brute;* parfois même, le terme *algine* a été employé seul.

Ainsi préparées, ces Algues furent essayées, en substitution d'une partie de la ration d'avoine, d'abord sur quelques Chevaux d'un équarisseur parisien, puis sur vingt Chevaux d'un régiment de cavalerie. Les deux séries ont montré le maintien du poids et du bon état des Chevaux, avec même un bénéfice au profit des sujets nourris d'Algues [1].

M. Adrian me fit alors l'honneur de me demander mon avis sur la valeur alimentaire des Algues. Je dus réserver mon appréciation jusqu'au moment où j'aurais pu procéder moi-même à des expériences suivies dans leur détail physiologique. Théoriquement, en effet, il y avait quelque difficulté à admettre le point de départ, l'assimilation chimique de l'avoine et de l'algine. Les analyses faites suivant la méthode classique (méthode de Weende) consistent essentiellement dans l'hydrolyse par une solution acide bouillante; elles comptent indifféremment comme *matière hydrocarbonée extractive* tout ce qui se dissout, que ce soit l'amidon réellement digestible et éminemment nutritif, se transformant intégralement par la digestion en glucose, sucre physiologique, combustible par excellence de la machine animale, ou que ce soit des hémi-celluloses, ou encore des gommes totalement indigestibles pour les carnivores, plus ou moins digestibles pour l'herbivore, grâce aux fermentations intestinales, mais même

[1] Adrian, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 7 janvier 1918.

alors d'une valeur alimentaire moins certaine, et notamment quand elles se résolvent, comme beaucoup de gommes, en pentoses au lieu d'hexoses, incapables de fournir de l'énergie au muscle. Dans le cas de l'avoine, les *extractifs hydro-carbonés* de l'analyse sont, pour la plus grande part, quelque chose comme les trois quarts, l'amidon de l'amande; pour un quart seulement, les hémi-celluloses et les pentosanes de l'enveloppe.

Dans le cas des Algues, à quoi avons-nous affaire? Sûrement pas à de l'amidon, qui n'existe pas chez les Algues brunes. Et comme on insistait sur l'algine, on évoquait dans mon esprit les expériences qui ont montré la non-digestibilité et la valeur alimentaire nulle des matières similaires d'autres Algues, agar-agar et gélose. Non-digestibilité pour les Carnivores et pour l'Homme, qui n'exclut pas la digestibilité chez les Herbivores, mais alors par un mécanisme microbien, et avec une signification nutritive bien différente ; les Algues ainsi ne seraient pas de l'avoine, mais du foin, peut-être seulement de la paille. Il fallait préciser.

Le beau Laboratoire de Chauveau, que l'Assemblée du Muséum avait mis à ma disposition pour les recherches concernant la Défense nationale avant même qu'il fût définitivement attribué à la chaire de Physiologie générale, comprend des écuries et une bascule à Chevaux.

M. Adrian voulut bien s'entremettre pour obtenir du Ministère de la Guerre des Chevaux d'expérience et un palefrenier militaire. Mais, sur ces entrefaites, M. Gloess avait été appelé à d'autres fonctions, et il fallut un certain temps avant qu'un nouveau chimiste, M. Chamagne, revînt au Laboratoire, toujours sous les ordres directs de M. Adrian, préparer la matière à essayer. Les Algues mises en œuvre étaient les mêmes que précédemment, et leur traitement fut le même, sauf qu'à l'acide fut substituée de la chaux, et, par suite de la mauvaise saison, le séchage dut se faire en étuve.

La série d'expériences sous ma direction ne fut commencée que le 20 mars 1918 ; ces expériences ont été suivies par le Ministère de l'Agriculture et du Ravitaillement général, par l'intermédiaire d'un officier délégué à cet effet. Mes collaborateurs spécialement affectés à ces recherches ont été M. Barbé et le Lieutenant Powick, de l'Armée américaine. Je dois remercier aussi M. Mouquet, Vétérinaire du Muséum, pour ses bons conseils.

Après une quinzaine consacrée à établir chez les sujets l'équilibre nutritif strict avec les aliments ordinaires, la ration d'entretien fut fixée avec 2 kilogrammes d'avoine. Exercice : une heure de promenade haut le pied. Le 18 avril, les Algues furent introduites dans le régime : 1 kilogramme par jour en substitution d'un poids égal d'avoine. Mélangées au restant de l'avoine, elles furent acceptées sans difficulté.

L'examen systématique du crottin donna lieu à une constatation tout à

fait imprévue. Trente heures environ après le premier repas d'Algues, quelques fragments apparurent dans le crottin, ayant exactement l'aspect, la consistance, l'épaisseur des morceaux avant ingestion, et simplement gonflés dans l'eau. L'examen microscopique, même avec l'emploi de divers colorants, ne révéla non plus aucune altération pour les morceaux ayant traversé tout le tube digestif. Dans les vingt-quatre heures suivantes, les morceaux d'Algues semblant inaltérés devinrent très abondants et furent jugés représenter la totalité de la ration ingérée. On chercha le moyen de les séparer quantitativement; mais le lendemain les fragments d'Algues, toujours aussi nombreux, étaient manifestement altérés et avaient perdu leur consistance; le jour suivant, ils étaient réduits à de vagues amas glutineux; ils diminuèrent progressivement pour disparaître le huitième jour du régime; c'est-à-dire, en tenant compte du temps nécessaire aux aliments pour parcourir le tube digestif du Cheval, que les Algues échappant complètement à la digestion le premier jour étaient complètement digérées le cinquième ou le sixième jour. Ce résultat a été obtenu identiquement sur trois Chevaux différents.

Les Algues sont donc digestibles pour le Cheval, au moins après une rapide accommodation; elles le sont même à un degré exceptionnel, puisqu'elles ne laissent aucun résidu apparent. Elles sont en même temps nutritives. Les Chevaux soumis à ce régime maintinrent en effet leur poids corporel et leur bon état général. Je passe sur le détail des expériences qu'il serait trop long de reproduire ici.

Une fois épuisé ce premier stock d'Algues, qui montait à 100 kilogrammes environ, l'Intendance demanda des essais sur un autre spécimen préparé dans une station militaire spéciale à Cosqueville (Manche). Tandis que la préparation de M. Chamagne se présentait sous forme de petites lamelles vert foncé, celle-ci, étiquetée *avoine marine*, était constituée par de longs rubans couleur de paille ou vert clair assemblés en bottes. Différences sans signification physiologique, même la couleur : j'ai eu l'occasion de le constater clairement par la suite. *Laminaria flexicaulis* (c'était toujours la même plante), de brune devient verte quand elle est touchée par un acide ou un alcali; elle blanchit rapidement et complètement lorsque, après lavage, elle est exposée à une lumière vive; elle garde toute sa couleur quand elle est séchée dans l'ombre d'une étuve. Le traitement de Cosqueville, d'après ce qui m'a été rapporté oralement par l'Officier de liaison du Ravitaillement, était le suivant : Les Algues, cueillies en canot, étaient plongées fraîches dans des tonneaux remplis d'eau douce fortement acidulée par l'acide sulfurique; après avoir séjourné quelques heures dans ce bain, elles étaient longuement lavées à l'eau courante dans une petite rivière, puis mises à sécher soit sur pré, soit sur des fils de fer. Le rendement était d'environ une tonne d'Avoine marine pour dix donnes d'Algues fraîches. Ces Algues de Cosqueville furent administrées aux Chevaux dans les mêmes

conditions que les Algues de Chamagne, et avec les mêmes résultats. La digestion totale eut lieu d'emblée [1].

Le remplacement de 1 kilogramme d'avoine par 1 kilogramme d'Algues laissa intacts le poids corporel et l'état général des sujets.

Mais il s'agissait d'expériences sur la ration d'entretien, non de travail. Or il est bien connu en zootechnie que les équivalences ne sont pas les mêmes dans un cas que dans l'autre, et l'avoine est précieuse justement comme aliment de travail. On avait pu, à l'entretien, remplacer intégralement la ration d'avoine par le même poids d'Algues de Cosqueville; mais le remplacement poids pour poids s'est montré également efficace (à condition que la puissance digestive du sujet fût normale) simplement avec du foin, que personne ne prétendra mettre sur le même rang que l'avoine, ou avec du marc de pommes, succédané qui a eu beaucoup de succès l'année dernière dans notre cavalerie; les Chevaux, en effet, acceptent facilement, avec avidité même, un picotin de marc de pommes, dont le parfum est appétissant, même pour un odorat humain. Mais nous pouvons facilement imaginer ce que cette matière représente comme nourriture; après la fermentation du cidre et le passage au pressoir, à peu près toutes les matières sucrées sont parties, et il reste la cellulose, le squelette du fruit pour ainsi dire, quelque chose comme un sac vide ou une éponge pressée [2].

Je n'ai pas pu encore réaliser des expériences précises sur un travail intense, mais même pour un travail léger, deux heures par jour de traction en terrain plat, la substitution totale n'était plus possible.

Dans une expérience sur le cheval Kappa, avec le travail ci-dessus, on obtint l'équilibre par 1 kilogr. 500 d'Algues et 0 kilogr. 500 d'avoine (outre le foin et la paille en quantité convenable), mais cet équilibre ne se maintint pas lorsqu'on remplaça les 0 kilogr. 500 d'avoine par un poids égal de marc de pommes.

Nous arrivons donc à cette conclusion que les Algues employées — *Laminaria flexicaulis* préparées suivant la technique de Chamagne ou celle de Cosqueville — sont pour le Cheval digestibles et nutritives, mais qu'elles doivent être rapprochées plutôt du foin que de l'avoine.

En tout cas elles sont sûrement inoffensives, même pour un usage prolongé. Ainsi le cheval Kappa a reçu chaque jour, du 18 avril au 1er mai (inclus), 1 kilogramme; du 2 mai au 24 juillet, 1 kilogr. 500, soit en tout 130 kilogrammes de cet aliment, sans aucun inconvénient. Le Cheval est

(1) Ce qui ne prouve rien, les sujets étant acclimatés aux Algues par la période précédente; mais j'ai des raisons chimiques de croire que la dissolution des Algues dans les sucs digestifs est plus facile après traitement à l'acide qu'après traitement à la chaux.

(2) Les pépins, théoriquement, doivent être considérés à part; en effet, ils contiennent des réserves intéressantes sous forme de graisse.

encore en expérience, ayant continué, avec quelques intervalles, à consommer de copieuses rations de Laminaires. Il est maigre, ayant été presque continuellement maintenu à l'entretien strict, mais il est toujours robuste et franc du collier.

On pouvait redouter *a priori* une influence nocive de la forte teneur en matières minérales. Les préparations contenaient, en effet, l'une comme l'autre, environ 15 p. 100 de cendres totales, soit, avec 20 p. 100 d'humidité, à peu près *un cinquième* du poids de la matière sèche. Une ration de 1 kilogr. 500 (et pour certains Chevaux la ration a atteint 2 kilogrammes) introduit donc dans l'organisme 225 grammes de matières minérales. L'urine des sujets est chargée, dès son émission, d'un précipité calcaire extraordinairement abondant; le sol de l'écurie se recouvre d'une couche crayeuse. En outre, dans ces matières minérales, il reste de l'iode; l'urine en excrète près de 1 gramme par jour.

J'ai essayé vainement de diminuer cette teneur minérale par de nouveaux lavages, même fortement acides; les sels qui sont là font partie des tissus et ne s'en vont qu'avec la matière organique à laquelle ils sont liés.

M. le Directeur des Inventions voulut bien m'envoyer en mission au bord de la mer pour reprendre le problème à sa source, avec une subvention me permettant de faire du travail un peu en grand.

Je me suis rendu d'abord en un point où je connais bien la côte et les marins, à Ploubazlanec, près de Paimpol.

A la grande marée du commencement de juillet, je fis quelques petites pêches de Laminaires, et mon attention fut rappelée sur l'excrétion de matières sucrées qui s'établit dès que l'Algue est hors de l'eau et donne naissance peu à peu à des efflorescences remarquables. Je me souvins que la matière première employée par M. Gloess et M. Chamagne était entièrement couverte de telles efflorescences qui fatalement devaient disparaître au lavage. Perdre du sucre dans la préparation d'un aliment, quoi de plus choquant pour un physiologiste? Les matériaux rapportés au laboratoire montrèrent en effet que le premier lavage enlevait, avec un peu de sels, beaucoup de matière organique. Il est certain qu'il faut laver les Algues pour les dessaler, sinon elles sont hygrométriques au point de n'être pas maniables, sans même parler des dangers physiologiques de leur salinité. D'autre part, il faut s'efforcer de conserver le plus possible de matières sucrées qui représentent l'aliment de travail par excellence. Il était donc indiqué d'essayer des lavages courts sur plantes aussi fraîches que possible, de façon à utiliser la différence des vitesses de diffusion des sels et des hydrates de carbone solubles. Le lavage à l'eau simple n'est pratiquement pas possible en raison de l'état glutineux que prennent immédiatement les Algues. Il faut laver en milieu acide, comme Gloess ou Cosqueville, ou en présence de chaux, comme Chamagne, deux procédés connus d'ailleurs

depuis fort longtemps. La chaux étant à tous points de vue plus commode, j'ai choisi le traitement à la chaux.

J'ai obtenu des résultats inespérés.

Le limbe de *Laminaria flexicaulis*, fraîchement cueilli, plongé un quart d'heure dans un lait de chaux léger (4 à 5 grammes de CaO par litre), puis rincé un quart d'heure à l'eau douce et séché à l'air, cesse d'être hygrométrique et se conserve aussi facilement que du foin; son humidité se fixe entre 15 et 18 p. 100; il ne contient que 10 à 12 p. 100 de cendres. Enfin et surtout, les 2/5 de sa matière sèche sont constitués par un hydrate de carbone soluble que l'hydrolyse transforme totalement en glucose. Cet hydrate de carbone est le *laminarine* de Schmiedeberg, dont l'étude a été récemment reprise dans un très important travail du botaniste suédois Kylin [1].

La question de la valeur alimentaire des Algues se trouve changée du tout au tout. Les lavages prolongés et laborieux des produits qui m'avaient d'abord été fournis pour essais avaient pour résultat d'enlever la substance véritablement nutritive et de ramener l'Algue au même état que le marc de pommes épuisé par la cidrification.

Les matières minérales se retrouvent même en plus forte proportion après cet épuisement qu'après un lavage court, résultat paradoxal qui s'explique de la façon suivante :

A travers l'épiderme de la plante insolubilisé par la chaux se produit une dialyse; les sels de l'eau de mer, chlorure de sodium et de magnésium, présents par simple imbibition, diffusent très vite au dehors; la laminarine diffuse lentement; les sels de constitution de tissus de soutien restent fixés; si la laminarine est restée dans la plante, la quantité de ces sels est la même, leur proportion est moindre. J'ai traité ainsi par un lavage court plusieurs tonnes de Laminaires. J'avais affrété une gabarre de goémoniers et fait construire un bassin cimenté à l'embouchure d'un petit ruisseau dans la mer. Le rendement a été double environ de celui de Cosqueville, et j'ai pu constater qu'il n'était pas nécessaire de passer par des usines pour préparer un fourrage marin qui s'annonce désormais comme vraiment précieux.

Les matériaux rapportés au Laboratoire y sont l'objet d'une étude chimique et physiologique. Je me propose aussi de suivre les variations saisonnières, qui sont de toute importance, et de comparer les autres Algues à *Laminaria flexicaulis* qui, d'ores et déjà, peut être proclamée la meilleure espèce.

[1] Untersuchungen über die Biochemie der Meeresalgen, *Zeitschrift für Physiologische Chemie*, t. 83, p. 171, 1913, et t. 94, p. 337, 1915. La mannite, plus visible, est moins intéressante.